

Verbesserte PFAS- Bodenwäsche

Erfahrungen im Projektmaßstab
und zukünftige Entwicklungen

November 2024

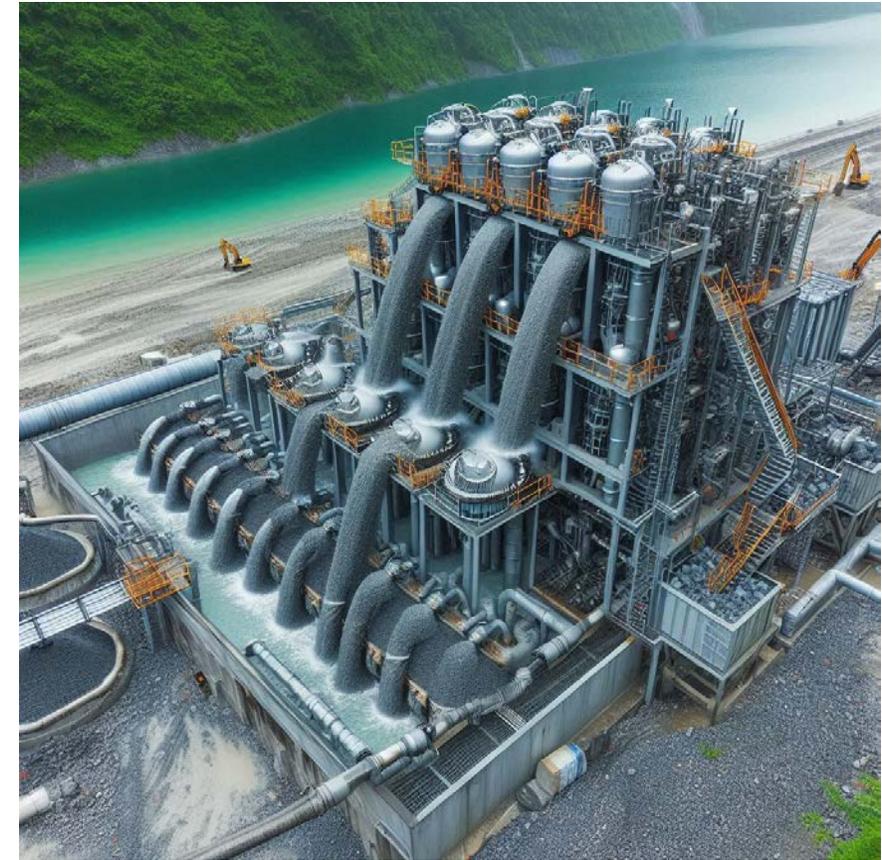
Dr. Benjamin Faigle
Bernhard Volz
Thomas Meyer

Züblin Umwelttechnik GmbH
benjamin.faigle@zueblin.de
www.zueblin-umwelttechnik.com



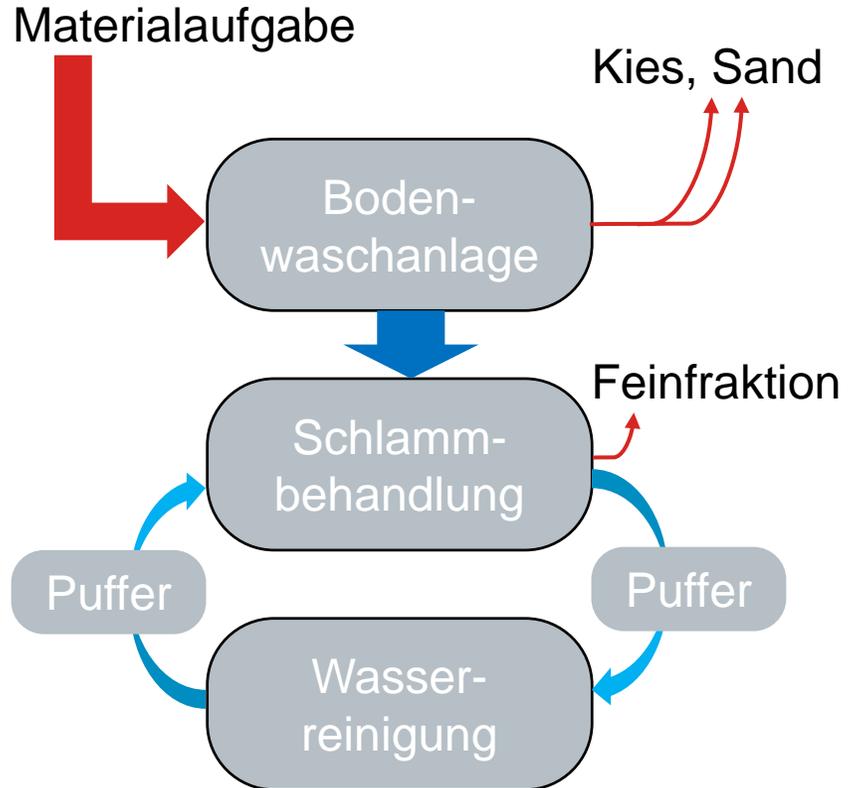
ZÜBLIN
WORK ON PROGRESS

Verbesserte PFAS-Bodenwaschanlage?

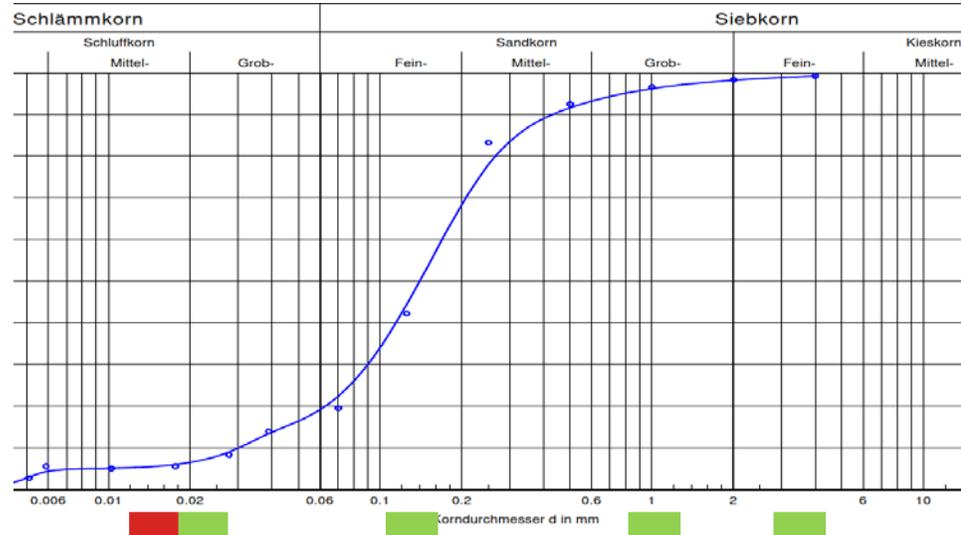


Quelle: DALL-E via <https://www.bing.com/create>

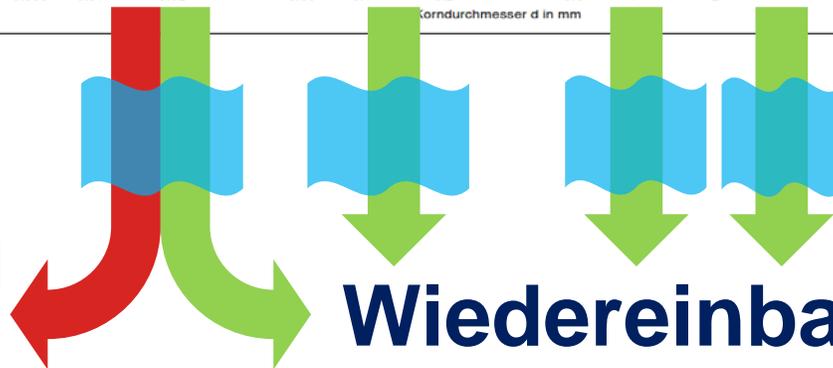
Kernelemente der PFAS-Bodenwäsche



Bodenwäsche Basics



Entsorgung



Wiedereinbau /
Wiederverwendung

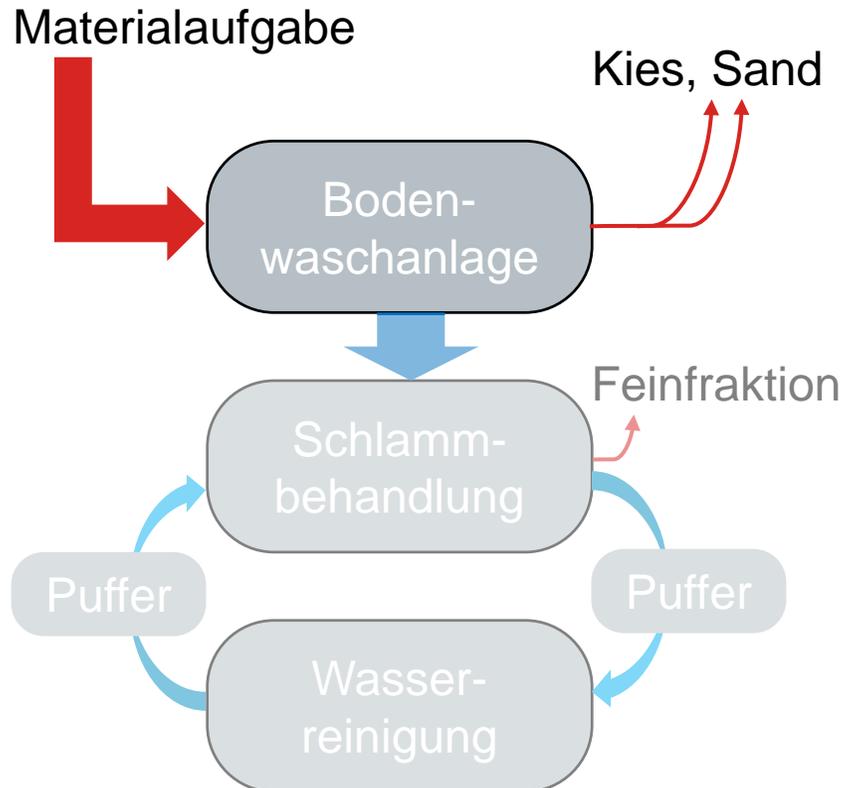
1. Klassierung
2. Abreinigung
3. Entwässerung
4. Qualitätskontrolle
5. Wiederverwendung

Gliederung des Vortrags

1. Einleitung
2. Technik des Bodenwaschverfahrens
3. Potential
4. Ausblick



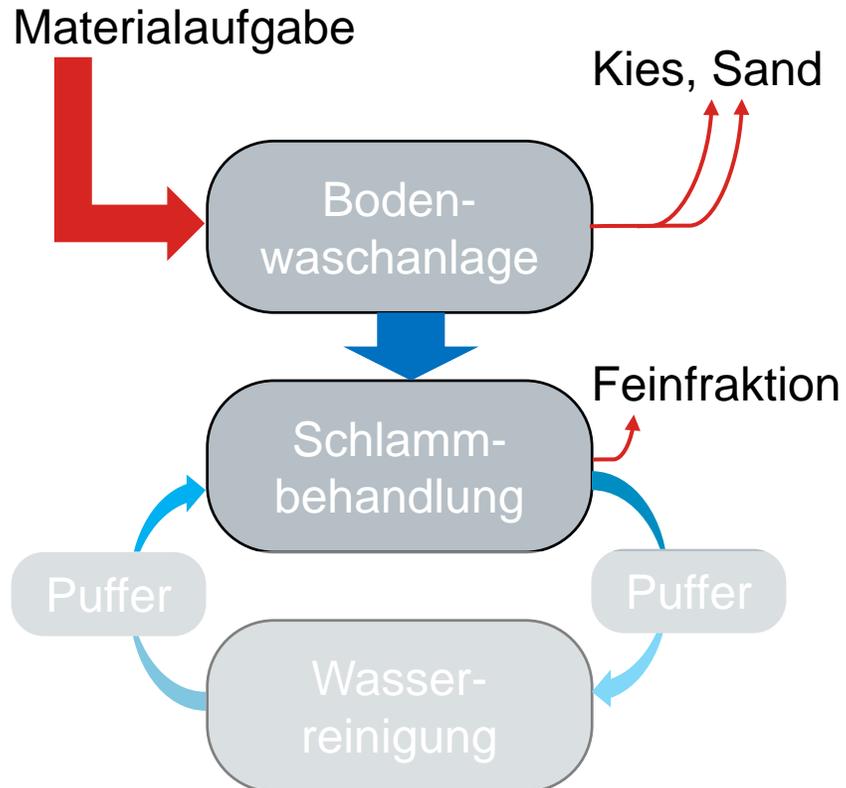
Bodenwaschanlage: Klassierung & Wäsche



Mehrstufiger Waschprozess

- Nassklassierung unter mehrstufiger Bedüsung
- Aufstromklassierer
- Hydrozyklon
- Entwässerungssieb

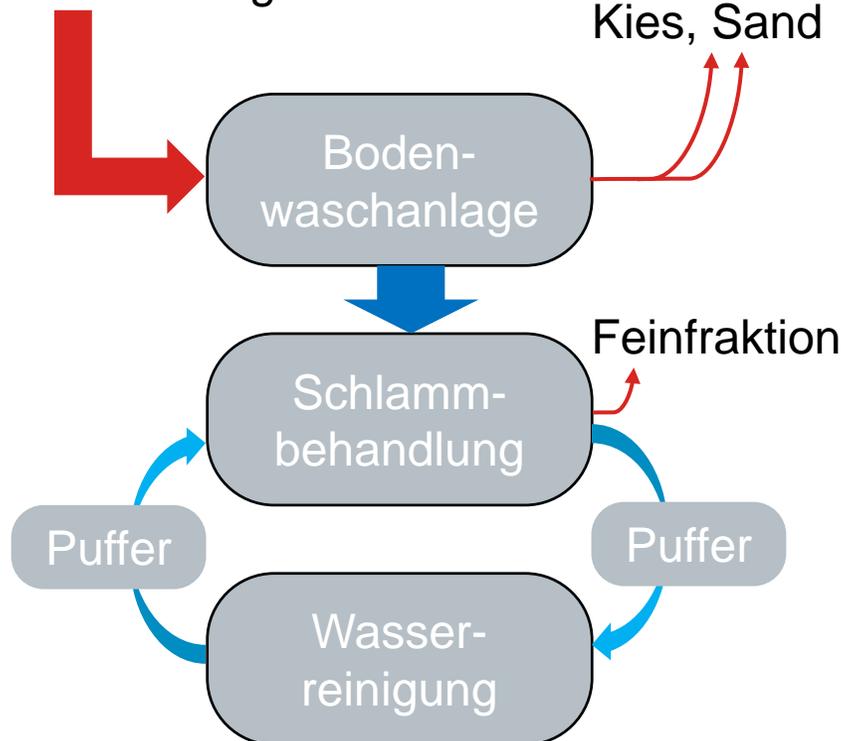
Schlammbehandlung



- Leistung: 300-400 m³/h
- Reaktionsbehälter
 - Dosierung von Fällungs- und Flockungshilfsmittel
- Schrägklärer
- Schlammstapelbehälter
- Puffer mit Nachflockung

Waschwasserreinigung

Materialaufgabe



Reinigungsanlage

- Gesamtkapazität
– $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$
- 4 Reinigungsstraßen
- 3 Reinigungsstufen

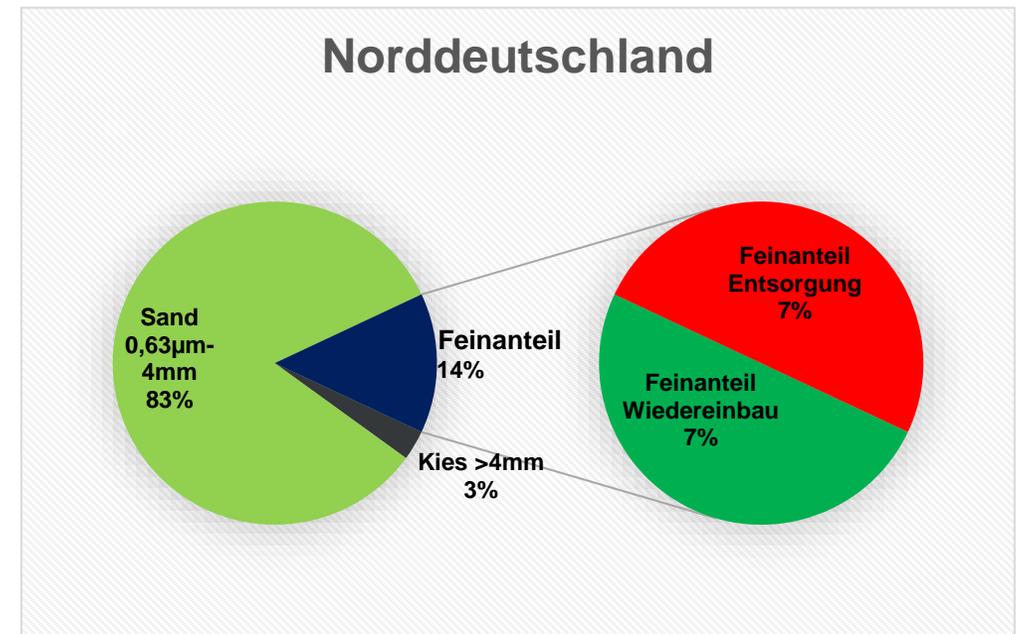
Puffer

- Puffervolumen Rein-
bzw. Schmutzwasser
- Je 3.000 m^3

Potential der PFAS-Bodenwäsche

Bodenwäsche ist in Projektmaßstab erfolgreich

- PFAS Terra Pure® am Standort Norddeutschland:
 - Aktuell >340.000 t erfolgreich gewaschen



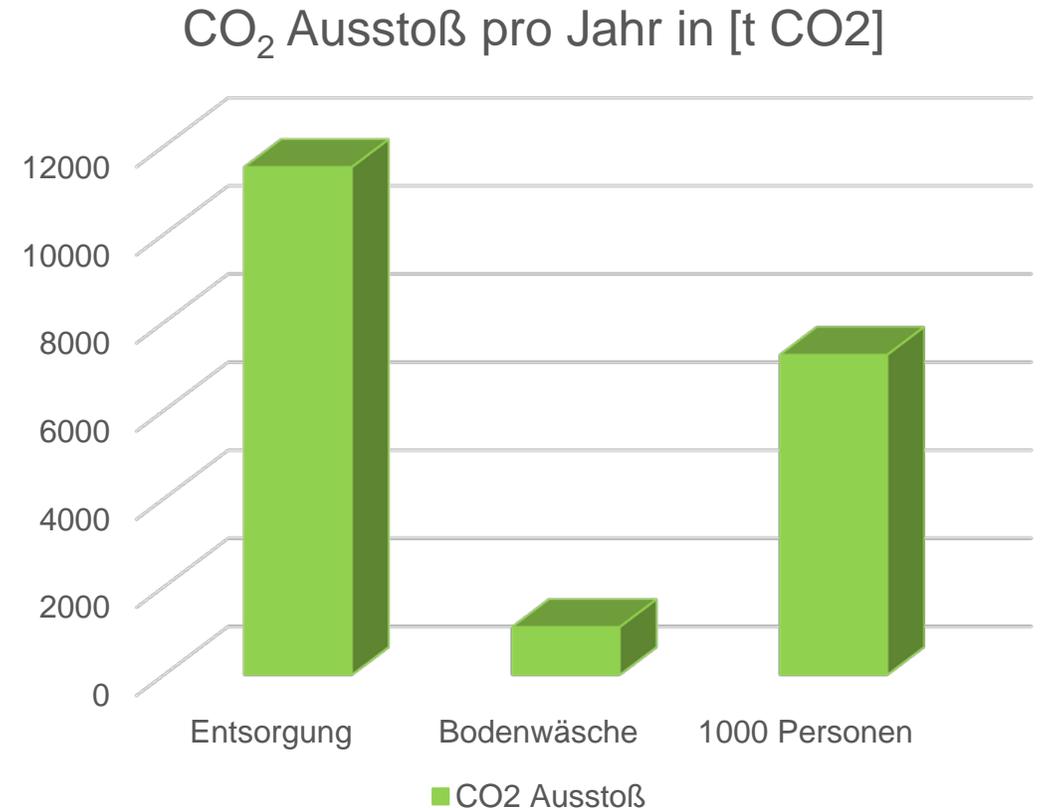
Besser als Entsorgung: CO₂-Bilanz

Transport zur Entsorgung:

- 8 kg CO₂/Tonne je 100 km Entfernung (beladener Sattelzug)
- Durchschnittliche Transportentfernung:
Projektstandort → neue Bundesländer: 400 km
→ **Hin+Zurück: 800km => 64 kgCO₂/t**

Bodenwäsche:

- Strom: 4,5 kWh/t => 1,9 kgCO₂/t (Strommix 2023)
- Diesel: 0,125 l Diesel/t => 0,33 kgCO₂/t
- Entsorgung von 5% des INPUT: 3,2 kgCO₂/t
- Aktivkohle: 0,24 kg WAK/t reaktiviert: < 0,24 kgCO₂/t
→ **Gesamt: <6 kgCO₂/t**



Waschversuche im Technikumsmaßstab



Behandlung von Böden aus anderen Standorten

- Charakterisierung der entstehenden Fraktionen
- Erkennen von hindernden Randbedingungen
- Vorschlag für eine geeignete Behandlungssequenz und Verfahrensauswahl

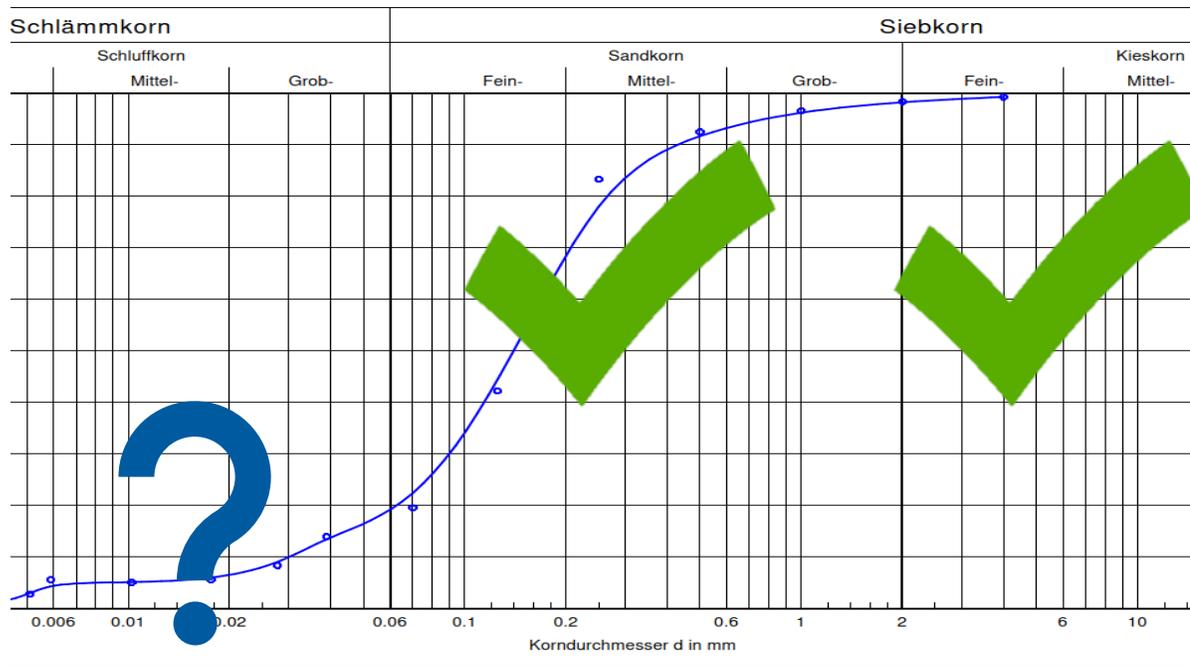
Waschversuch Technikum am Beispiel



| Ausgangsmaterial Oberschicht (OS) | | Aufgabe OS 100%, 710kg, 490µg/l | | | | |
|--------------------------------------|--|--|---------------------------------------|--------------------------|--|--|
| 1. Waschgang | Produkt 1 42,25m%, 300kg, 0,48µg/l | Feinsand 1 4,79m%, 34kg, 0,3µg/l | Grobgut 1 30,9m%, 220kg, 12µg/l | Organik 0,54m%, 3,8kg | Feinstfraktion 1 21,4m%, 152kg, 11µg/l | |
| 2. Waschgang | Produkt 2 39,4m%, 280kg, 0,087µg/l | Feinsand 2 2,5m%, 18kg, 0,54µg/l | Grobgut 2 4,5µg/l | | Feinstfraktion 2 0,62m%, 9kg | |

- Boden waschbar
- Erfordernis eines zweiten Waschgangs auf Projektskala zu prüfen
- Grobgutaufschluss zu verbessern

Zusammenfassung



- Das Bodenwaschverfahren ist für viele PFAS-Schadensfälle geeignet
 - Sehr gute Ergebnisse in Grobfraktion
 - Verbesserungspotential in der Feinfraktion

Ausblick: Anwendungsforschung



PFAS-Wäsche der Feinfraktion verbessern

- Zusätzliche Schadstoffsenken?
- Laborversuche zu
 - Bindungs- und Lösungsmechanismen
 - Klassiermöglichkeiten der Feinfraktion
- Experimentelle Ansätze

Ziel

- Such nach Ansätzen für die Projektskala
 - Technisch machbar
 - Finanzierbar
- Schwierigkeit des „Upscaling“s wird oft unterschätzt!

Ich freue mich auf Ihre Fragen.

Dr. Benjamin Faigle

Züblin Umwelttechnik GmbH
benjamin.faigle@zueblin.de
www.zueblin-umwelttechnik.com



ZÜBLIN
WORK ON PROGRESS

Zielwerte zum Wiedereinbau von Boden

Deutschland

| | VK 1 Uneingeschränkter offener Einbau | VK 2 Eingeschränkter offener Einbau in Gebieten mit erhöhten PFAS- Gehalten | VK 3 Eingeschränkter Einbau in technischen Bauwerken mit definierten Sicherungsmaßnahmen |
|---|--|--|--|
| Perfluorbutansäure (PFBA) | ≤ 10,0 | ≤ 20,0 | ≤ 50 |
| Perfluorhexansäure (PFHxA) | ≤ 6,0 | ≤ 12,0 | ≤ 30 |
| Perfluorooctansäure (PFOA) | ≤ 0,1 | ≤ 0,2 | ≤ 1 |
| Perfluorononansäure (PFNA) | ≤ 0,06 | ≤ 0,12 | ≤ 0,6 |
| Perfluorbutansulfonsäure (PFBS) | ≤ 6,0 | ≤ 12,0 | ≤ 30 |
| Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) | ≤ 0,1 | ≤ 0,2 | ≤ 1 |
| Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) | ≤ 0,1 | ≤ 0,2 | ≤ 1 |

Tabelle 1: Vorläufige maximal zulässige Konzentrationen im W/F 2:1-Eluat in µg/l für die entsprechende Verwertungskategorien (GFS-basierte Werte)

| | | | |
|--|-------|-------|------|
| Perfluorpentansäure (PFPeA) | ≤ 3,0 | ≤ 6,0 | ≤ 15 |
| Perfluorheptansäure (PFHpA) | ≤ 0,3 | ≤ 0,6 | ≤ 3 |
| Perfluordecansäure (PFDA) | ≤ 0,1 | ≤ 0,2 | ≤ 1 |
| Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS) | ≤ 0,3 | ≤ 0,6 | ≤ 3 |
| 1H,1H,2H,2H- Perfluorooctansulfonsäure (H4PFOS) | ≤ 0,1 | ≤ 0,2 | ≤ 1 |
| Perfluorooctansulfonamid (PFOSA) | ≤ 0,1 | ≤ 0,2 | ≤ 1 |
| Weitere PFAS | ≤ 0,1 | ≤ 0,2 | ≤ 1 |

Tabelle 2: Vorläufige maximal zulässige Konzentrationen für Orientierungswerte im W/F 2:1-Eluat in µg/l für die entsprechenden Verwertungskategorien (GOW-basierte Werte)

International

- Nicht auf Basis einer Eluatsanalyse [µg/l] sondern einer Feststoffanalyse [µg/kg]
- Einbaugrenzwerte meist zwischen 1 µg/kg und 10 µg/kg